

Filosofia della Scienza

1. Scienza e Filosofia

Spesso si è convinti che le asserzioni scientifiche debbano essere “vere” ed infallibili, in virtù della metodologia obiettiva e razionale attraverso cui la scienza costruisce i propri oggetti. Questo porta a ritenere che la conoscenza scientifica sia differente, nella sua essenza, da altri tipi di conoscenza umana. Secondo il senso comune, infatti, la conoscenza scientifica è conoscenza provata; le sue teorie derivano rigorosamente dai fatti empirici acquisiti mediante l’osservazione e l’esperimento; la scienza si basa su ciò che è possibile vedere, udire, toccare; il pensiero speculativo, le opinioni personali o le preferenze non vi trovano posto, poiché la scienza è oggettiva. La conoscenza scientifica è attendibile appunto perché dimostrata.

Normalmente si ritiene anche che scienza e filosofia siano due forme di sapere piuttosto diverse e distanti, proprio per la metodologia che definisce la prima e per la tendenza speculativa, spesso aprioristica, che caratterizza invece la seconda. Eppure, fin dalle sue origini, la scienza ha intessuto un legame molto stretto con la filosofia, fatto di mutue influenze e volto alla discussione di quei concetti fondamentali che, di volta in volta, hanno fondato la visione scientifica del mondo.

La filosofia della scienza è un campo in cui ci si propone di analizzare la natura delle ricerche scientifiche, cercando di rispondere a domande del tipo: quali caratteristiche distinguono l’indagine scientifica da altri tipi di indagine? Che cos’è una spiegazione scientifica? Quali procedure dovrebbero seguire gli scienziati quando indagano la natura? In quale misura le tesi scientifiche possono essere giustificate o si può dimostrare che sono false? Come mutano nel tempo le teorie scientifiche? Quali relazioni sussistono tra le teorie vecchie e nuove? Quali relazioni sussistono, o dovrebbero sussistere, tra tesi teoriche elaborate in differenti campi della ricerca scientifica?

Queste domande, tutt’altro che oziose, testimoniano dunque che la linea di confine tra scienza e filosofia della scienza non è nettamente definita, ma è basata su di una diversità di intenti, piuttosto che su di una differenza tra oggetti di indagine. Ad esempio: è sempre lo scienziato a giudicare la superiorità di una teoria rispetto ad un’altra; ma è il filosofo della scienza (o lo scienziato in quanto filosofo della scienza) ad investigare quali siano i criteri generali di accettabilità implicati in giudizi di questo tipo. In conclusione, soltanto questo continuo intergioco tra scienza e filosofia della scienza è in grado di gettare luce sulle basi della presunta autorità della conoscenza scientifica.

I filosofi si sono interessati alla scienza fin dall’antichità, in quanto quest’ultima si presenta come il tentativo più rigoroso compiuto dagli uomini di acquisire ed applicare conoscenze. Questo fatto ha condotto alcuni filosofi a cercare un criterio in base al quale sia possibile distinguere le pretese epistemiche prodotte dall’attività scientifica da altre pretese epistemiche avanzate dagli uomini (per esempio, quelle che si fondano sul misticismo o fanno appello all’intuizione). Sapere cosa sia e come funzioni la scienza è una questione seria, soprattutto per le gravi conseguenze che, a livello culturale e sociale, ne possono derivare. La storia ne dà alcuni esempi:

1) 1969-1972: Il dibattito su quoziente intellettivo e razzismo

Alcuni autorevoli scienziati (fra cui, per es., A.R. Jensen, W. Shockley, H.J. Eysenck) elaborano, sulla base di risultati sperimentali ottenuti attraverso il test per il quoziente intellettivo (IQ) una

teoria per la quale esisterebbe una inferiorità genetica dei neri rispetto all'intelligenza. Comprensibilmente, infuria la polemica. Fra le molte reazioni, l'American Anthropological Association e l'American Philosophical Association sottoscrivono documenti di condanna. Nel secondo dei due (originariamente redatto da Hilary Putnam, professore di filosofia ad Harvard) si definiscono le posizioni in questione "pericolose e non scientifiche" e si legge: "non si tratta, in questo caso, di non scienziati che si intromettono in una controversia scientifica, ma piuttosto di un'ideologia priva di meriti scientifici che sta cercando di spacciarsi per scienza. Condanniamo quindi l'irresponsabile sostegno dato a tali infondate conclusioni dall'*Atlantic Monthly* e dal *New York Times*, la pubblicazione delle quali invita alla riflessione specialmente in vista degli usi politici deleteri di queste teorie...".

2) 1981: Creazionismo

Nel 1981 lo stato dell'Arkansas approva una disposizione legislativa chiamata *Balanced Treatment for Creation-Science and Evolution-Science Act* (Act 590). La "scienza della creazione" cui si fa riferimento nel provvedimento è una teoria, sostenuta da diverse istituzioni e studiosi abbastanza influenti specie in alcune zone degli Stati Uniti, secondo la quale, tra l'altro, l'universo ha poche migliaia di anni di vita ed è stato creato dal nulla da un ente supremo e intelligente e le attuali specie viventi sono dirette discendenti di quelle sopravvissute a un cataclisma di dimensioni planetarie di cui è rimasta traccia, per es., nel racconto biblico del Diluvio Universale. L'Act 590 prescrive che nell'insegnamento pubblico venga dato *uguale spazio* alla dottrina creazionista e alla biologia evoluzionistica darwiniana. L'approvazione della legge solleva molte polemiche e, ben presto, si finisce in tribunale per stabilirne la costituzionalità. All'inizio di gennaio del 1982 il giudice competente (W.R. Overton) dichiara la legge incostituzionale. In un passaggio decisivo della motivazione della sentenza argomenta che "la 'scienza della creazione' semplicemente non è una scienza" per il fatto che 1) non è "guidata dalle leggi di natura", 2) non svolge una funzione esplicativa mediante il riferimento alle leggi di natura, 3) non può essere controllata a fronte dell'esperienza, 4) le sue conclusioni non sono "tentative" e infine 5) non è falsificabile. I creazionisti hanno ribattuto che "la scienza della creazione è altrettanto esplicativa, controllabile, tentativa e falsificabile della teoria dell'evoluzione".

(Si tratta, in effetti, di un solo episodio di una battaglia culturale fra sostenitori e oppositori del darwinismo che in alcune stati USA è continuata per tutto il Novecento e non è ancora affatto conclusa.).

3) 1841-1848: *Semmelweiss e la febbre puerperale* (si veda la sezione dedicata a Popper).

2. La Ricerca Filosofica Intorno alla Scienza

Il legame tra scienza e filosofia della scienza può essere caratterizzato come intergioco di tre diversi livelli:

LIVELLO	DISCIPLINA	OGGETTO DI INDAGINE
0		Fatti
1	Scienza	Spiegazione dei fatti significativi
2	Filosofia della scienza	Analisi delle procedure e logica della spiegazione scientifica

La scienza, genericamente parlando, tratta di che cosa possa essere considerato come un fatto concernente il mondo in cui viviamo e come possa essere spiegato. La filosofia della scienza tratta invece della natura del fatto scientifico. Il compito del filosofo della scienza non è quello di scoprire nuovi fatti concernenti il mondo, ma piuttosto quello di considerare da un punto di vista critico ciò che lo scienziato pretende sia un fatto: i filosofi si occupano allora dei ragionamenti impiegati, re-

almente o idealmente, dagli scienziati e cercano di identificare i criteri che conferiscono validità oggettiva alle tesi scientifiche. Nello svolgere questa analisi il filosofo porta con sé un retroterra frutto della formazione in altre aree della filosofia, ricorrendo così, nell'analizzare la scienza, a strumenti concettuali elaborati in ambiti di ricerca differenti.

La filosofia, nella forma che questa ha assunto nel mondo occidentale, è infatti un tentativo di elaborare risposte sistematiche e giustificabili a questioni del seguente tipo: quali sono le forme corrette del ragionamento? Quali sono le categorie fondamentali delle cose? In che modo l'uomo conosce il mondo naturale? Come si dovrebbe comportare? Queste domande definiscono i domini fondamentali della filosofia: logica, metafisica, epistemologia e teoria del valore, ognuno dei quali influenza in maniera significativa la filosofia della scienza.

2.1. La Logica

I problemi sollevati dalla disciplina della logica hanno un ruolo centrale nella riflessione filosofica a cavallo tra '800 e '900 (come vedremo in seguito).

Il problema centrale della logica è la valutazione dell'argomentazione, la quale è semplicemente un insieme di proposizioni, alcune delle quali fungono da *premesse*, o da base, per dimostrare un'altra proposizione (la *conclusione*).

Ai fini della valutazione dell'argomentazione sono importanti due criteri:

- (a) L'argomentazione è tale che se le premesse sono vere, anche la conclusione deve essere vera?
- (b) Le premesse sono vere?

Di solito si definisce *valida* una argomentazione che soddisfa il criterio (a), mentre un'argomentazione che soddisfa sia (a) che (b) viene definita *buona*. La disciplina della logica è principalmente interessata al criterio (a), cioè si propone, innanzitutto, di determinare se l'argomentazione è tale che la verità delle premesse garantisce la verità della conclusione.

Il fatto che un'argomentazione sia in grado di preservare la verità non dipende dal contenuto (dal *significato*) di ciò che si asserisce nell'argomentazione, ma esclusivamente dalla *forma* di quest'ultima. È possibile spiegare intuitivamente il concetto di forma di un'argomentazione caratterizzandola come ciò che resta quando tutte le parole o le proposizioni che hanno contenuto sono state sostituite da variabili, a patto che la sostituzione si sia realizzata per tutti i casi delle parole o proposizioni che hanno lo stesso contenuto (per esempio, la forma logica dell'enunciato «Piove e fa freddo» potrebbe essere « x e y », dove x e y sono variabili).

Nel corso della storia della filosofia sono state elaborate due teorie della forma logica. La prima risale ad Aristotele e dà luogo alla *logica sillogistica*, la seconda fu elaborata alla fine del XIX secolo e agli inizi del XX, principalmente ad opera di Frege e Russell, e costituisce ciò che viene comunemente chiamato *logica simbolica*. Si può interpretare la logica sillogistica come una logica delle classi; essa utilizza informazioni sull'appartenenza di un oggetto a una classe o sull'inclusione di classi per determinare ulteriori relazioni. La forma fondamentale di argomentazione è il *sillogismo* in cui due asserti su relazioni di appartenenza tra oggetti e classi di oggetti vengono offerti come base per dimostrare un terzo asserto. Un tipico sillogismo valido è il seguente:

Tutti gli uomini sono mortali
Socrate è un uomo

Socrate è mortale

Benché la logica sillogistica si fosse dimostrata utile per cogliere svariate forme valide di argomentazione, essa era sprovvista dei mezzi per trattare molte altre argomentazioni e la moderna logica simbolica venne sviluppata per ovviare a questo inconveniente.

La logica simbolica ha due componenti:

- (a) la *logica proposizionale* (o *enunciativa*);

(b) il *calcolo dei predicati* (o logica della *quantificazione*).

La logica proposizionale considera come unità enuncianti o proposizioni semplici complete (ad esempio «Piove») senza preoccuparsi della loro struttura interna; impiega quindi connettivi *vero-funzionali* per costruire proposizioni complesse. Un connettivo è vero-funzionale se la verità o la falsità (il valore di verità) di ogni proposizione costruita mediante quel connettivo può essere determinata in modo univoco a partire dai valori di verità delle proposizioni componenti. Benché i connettivi della logica proposizionale siano definiti in base a precise regole che si allontanano da quelle che governano le corrispondenti particelle italiane, i principali connettivi sono generalmente espressi usando le particelle «non», «e», «o», «se ... allora ...» e «se e solo se». Grazie a una tavola (detta *tavola di verità*, ideata da Wittgenstein), si può mostrare come i valori di verità delle varie proposizioni complesse dipendano da quelli delle proposizioni componenti (rappresentate dalle lettere A e B).

Glossa italiana		non A	A e B	A o B	se A allora B	A se e solo se B
Notazione		$\neg A$	$A \wedge B$	$A \vee B$	$A \rightarrow B$	$A \leftrightarrow B$
A	B					
V	V	F	V	V	V	V
V	F	F	F	V	F	F
F	V	V	F	V	V	F
F	F	V	F	F	V	V

Il valore di verità di una proposizione è indicato collocando una V («vero») o una F («falso») nel posto appropriato della tavola. La tabella riporta le tavole di verità delle proposizioni formate usando i connettivi fondamentali sopra citati (sotto le proposizioni complesse in cui compaiono le particelle italiane sono riportati i simboli più comunemente usati per designare i corrispondenti connettivi).

La tavola di verità per la maggior parte di questi connettivi è esattamente quella che ci si sarebbe aspettata. L'unico connettivo problematico è l'implicazione «*se A allora B*», a cui, in modo alquanto controintuitivo, è assegnato il valore di verità «vero» ogni volta che A (l'antecedente) è falso. Si può comprendere almeno in parte il motivo di questa interpretazione considerando in quali circostanze si potrebbe riconoscere la falsità dell'asserto. L'unica circostanza è quella in cui A è vero e B (il conseguente) è falso. Nelle parole di Whitehead e Russell:

Ciò che essa determina [l'implicazione] è che, se *p* implica *q*, non può darsi il caso che *p* sia vero e *q* sia falso; ossia deve darsi il caso o che *p* sia falso o che *q* sia vero. L'interpretazione più opportuna dell'implicazione asserisce che, viceversa, se *p* è falso o *q* è vero, «*p* implica *q*» deve allora essere vera. Quindi «*p* implica *q*» va definito in modo tale da significare che «*o p* è falso o *q* è vero».¹

Ossia, il fatto che «*se A allora B*» sia logicamente equivalente a «*non A o B*» ha la conseguenza di assegnare il valore «vero» ad ogni implicazione che abbia un antecedente falso.

Nella logica proposizionale le derivazioni si avvalgono di premesse e conclusioni che consistono o di asserti semplici o di asserti complessi costruiti a partire da asserti semplici usando i connettivi vero-funzionali.

Il *calcolo dei predicati estende* il potere della logica proposizionale, rivelando la struttura interna degli asserti di base utilizzati nella logica proposizionale e mostrando come una molteplicità di forme valide si basino su questa struttura. La struttura in questione è la fondamentale struttura *soggetto-predicato*, che troviamo ad esempio nell'enunciato «il cielo è blu». Per rappresentare questa struttura, si sostituisca il soggetto dell'enunciato (l'espressione che si riferisce all'oggetto di discorso) con una

¹ A.N. Whitehead, B. Russell, *Principia Mathematica*, 1910-13, 1962, p. 94.

delle prime lettere dell'alfabeto in carattere minuscolo e il predicato con una delle ultime lettere dell'alfabeto in carattere maiuscolo: il precedente enunciato può dunque essere rappresentato come «Pa», dove P = «è blu», e a = «il cielo». In questo caso il predicato comprende *un solo* oggetto ed è dunque *monadico*. E' possibile avere anche predicati relazionali, che comprendono due o più oggetti (per esempio, «più alto di» è un predicato relazionale e l'enunciato «Mario è più alto di Giovanni» può essere rappresentato come «Tab»).

Oltre a rappresentare asserti che si riferiscono a specifici oggetti, il calcolo dei predicati (grazie all'introduzione della *quantificazione*) consente generalizzazioni che asseriscono che un asserto è vero per ogni oggetto o per almeno un oggetto. Dunque l'asserto «Tutti i cani hanno il cuore» può essere simbolizzato nel modo seguente: $(x)(Fx \rightarrow Gx)$, che si legge «Per tutti gli x , se x è un cane, allora x ha un cuore». Parimenti, l'asserto «Esiste un cane bianco» viene simbolizzato come: $(\exists x)(Fx \wedge Gx)$, che si legge «Esiste un x tale che x è bianco e x è un cane». Nei sistemi di deduzione naturale per il calcolo dei predicati vi sono regole specifiche che stabiliscono quando è ammissibile introdurre o eliminare questi quantificatori. Tali regole forniscono una potente struttura deduttiva al calcolo dei predicati.

L'interesse per la logica è giustificato dal fatto che numerosi filosofi (in particolare gli *empiristi logici*) hanno cercato di spiegare le teorie scientifiche proprio come strutture logiche e la struttura delle spiegazioni scientifiche in termini di derivazioni logico-formali.

2.2. La Metafisica

La metafisica si propone di determinare quali sono e che natura hanno le categorie dell'esistente. Tradizionalmente la metafisica si è occupata di problemi quali l'esistenza di un essere supremo o di un dio creatore, o l'esistenza di fenomeni mentali o spirituali diversi dai fenomeni fisici.

In tempi più recenti la metafisica si è posta il problema di quali tipi di entità è legittimo includere nelle teorie scientifiche. Generalmente si dice infatti che l'insieme delle entità postulate in una teoria specifica l'ontologia a cui quest'ultima si lega.

E' importante osservare che in genere si ritiene che la natura di un problema metafisico sia diversa da quella di un ordinario problema empirico, quale potrebbe essere la questione se esistono ancora dei dinosauri. Per risolvere un problema empirico di questo tipo comunemente ci affidiamo a tecniche quali l'osservazione; ma le questioni ontologiche sono giudicate più fondamentali e non risolubili mediante le ricerche empiriche usuali. Tradizionalmente si è ritenuto che per affrontare i problemi classici dell'esistenza di Dio o il dualismo mente/corpo fosse necessario un tipo di indagine che andasse oltre la consueta ricerca empirica; ma talvolta si è anche affermato che tali problemi possono essere affrontati avvalendosi semplicemente degli strumenti della logica. Per esempio, l'argomento ontologico è un tentativo di inferire la concreta esistenza di Dio dall'idea della sua perfezione; la legittimità di questa inferenza riposerebbe sul principio secondo cui se Dio non esistesse, vi sarebbe un essere più perfetto, un essere esattamente simile a Dio ma esistente nella realtà. Pertanto la supposizione che Dio non esiste è contraddittoria e da ciò discende la necessità della Sua esistenza. Gli odierni problemi ontologici riguardano il modo in cui dovremmo istituire le categorie in base alle quali condurre la nostra ricerca empirica (cercare cioè di comprendere cosa realmente esista e su questo basare la ricerca). La questione delle categorie appropriate si pone prima dell'osservazione empirica (poiché su di essa influisce) e dunque non può essere facilmente risolta avvalendosi di questa stessa osservazione.

Agli occhi di coloro che non si occupano di filosofia le questioni ontologiche classiche e contemporanee si presentano particolarmente remote e sterili. Che valore avrebbe una risposta a un problema ontologico? Il carattere stesso di tali problemi suggerisce che essi sono privi di rilevanza pratica. Se le differenze ontologiche non implicano differenze fisiche, sembra che si possa abbracciare l'ontologia che si preferisce senza che ciò influisca minimamente sul proprio rapporto con il mondo fisico. In realtà alcuni filosofi hanno cercato di abbandonare i problemi metafisici. I positivisti logici, ad esempio, ritengono che la maggior parte delle questioni ontologiche classiche siano prive di significato, mentre Ludwig Wittgenstein cerca di convincere i lettori delle sue *Ricerche filosofiche* che

quando i filosofi hanno affrontato tali questioni, mandavano “in vacanza” il loro linguaggio, cioè non stavano affatto ponendo veri problemi.

Altri filosofi hanno cercato di ridurre lo scarto tra ricerche ontologiche e ricerche empiriche. Quine, per esempio, ha sostenuto che la scelta di una teoria scientifica ci consente direttamente di risolvere il problema relativo allo schema ontologico che veniamo ad accettare insieme alla teoria stessa: gli oggetti a cui noi attribuiamo proprietà nelle nostre teorie sono quelli di cui accettiamo l'esistenza. Ma il problema non viene per nulla risolto in questo modo. Infatti, ciò che viene trascurato da questa proposta è il fatto che molti dibattiti sull'adeguatezza delle teorie scientifiche si incentrano proprio sull'ontologia presupposta dalla teoria. Nella scienza si sono infatti spesso accese dispute teoriche tanto su problemi ontologici quanto su problemi empirici. Per esempio nel corso dei secoli XVII e XVIII vi fu una lunga controversia tra cartesiani e newtoniani in merito alla legittimità del ricorso alla nozione di azione a distanza (ammessa dal concetto di gravitazione di Newton).

Si può osservare che, sebbene a quell'epoca i problemi ontologici rivestissero una grande importanza, oggi sono stati risolti e la soluzione è scaturita dal successo di una teoria scientifica (la meccanica relativistica). Questa osservazione non è del tutto sbagliata: tali controversie rivelano che le considerazioni empiriche sono rilevanti per la soluzione di problemi ontologici; tuttavia esse non mostrano che simili problemi sono privi di importanza per lo sviluppo della scienza e possono essere semplicemente ignorati. Un esame della fisica e della biologia contemporanee, ad esempio, mostra che in queste discipline i quesiti ontologici restano cruciali.

Nella fisica quantistica i teorici sono divisi in merito al problema di stabilire se sia necessaria una teoria unificata delle forze fondamentali della natura o se sia accettabile una teoria dualista. Nella biologia evuzionistica vi è un forte disaccordo sulla questione se la selezione operi solo su individui o se operi anche su entità di ordine superiore come i gruppi e le specie.

Analoghe controversie esistono nella psicologia cognitiva. Non tutti sono infatti d'accordo con il principio ontologico della *formalità* elaborato da Fodor, secondo il quale tutta l'attività mentale e tutte le informazioni che influenzano il comportamento di un sistema cognitivo possono essere rappresentate come stringhe di simboli di un linguaggio formale. In tal modo viene sollevata la questione se la condizione di formalità sia un principio ontologico appropriato per la psicologia cognitiva.

Spesso la valutazione delle teorie dipende dal giudizio sulla coerenza dei loro assunti ontologici. Teorie che fanno assunzioni ontologiche incoerenti, o assunzioni ontologiche che i ricercatori contemporanei giudicano inaccettabili, sono criticate nella stessa misura delle teorie che fanno false previsioni empiriche. E tuttavia in qualche modo i criteri empirici devono essere applicabili se si vogliono risolvere le questioni ontologiche. Il legame tra problemi ontologici e ricerca empirica deriva dal fatto che, sebbene tali problemi svolgano spesso un ruolo nello sviluppo di un particolare tipo di programma di ricerca, la capacità di un tale programma di produrre una tradizione di teorizzazione progressiva influenza spesso i successivi giudizi sull'adeguatezza della posizione ontologica alla base del programma.

Questo può suggerire l'idea erronea che, dal momento che i problemi ontologici sono in parte risolti dall'adeguatezza dei programmi di ricerca che si basano su di essi, dobbiamo attendere il verdetto della storia sulla produttività di tali programmi di ricerca per valutare le posizioni ontologiche. Tuttavia le posizioni in dialogo sono spesso molto più ricche e intrecciate. In base all'esperienza collettiva del tentativo di fornire spiegazioni dei fenomeni naturali, è possibile valutare se è verosimile che particolari posizioni ontologiche saranno soddisfacenti o condurranno a problemi insolubili: quando riconosciamo che è probabile che certe assunzioni produrranno problemi, possiamo prevenirli. Talvolta questi stessi problemi possono essere evitati rimodellando la teoria all'interno di un differente quadro ontologico. Dunque, per non incorrere in problemi, è utile prendere sul serio gli impegni ontologici che vengono assunti e riformulare le ipotesi in un quadro che eviterà tali problemi.

Le questioni metafisiche sono chiaramente importanti per la scienza ma, come già accennato, alcuni filosofi della scienza, tra cui i positivisti logici, hanno cercato di eliminarli quali pseudoproble-

mi. Nondimeno altri filosofi (tra cui Kuhn, Feyerabend e Lakatos) hanno sostenuto che i problemi metafisici svolgono un ruolo importante nella determinazione della direzione e del progresso della scienza. Inoltre, perfino il positivismo logico, con il modello della *riduzione teorica*, ha fornito un quadro di riferimento entro il quale unificare le ontologie di differenti teorie. I problemi metafisici sono dunque della massima rilevanza ai fini dell'elaborazione di una teoria filosofica della scienza.

2.3. L'Epistemologia

Mentre la metafisica si occupa di delimitare le categorie dell'esistente, l'epistemologia è interessata al problema della natura e della possibilità della conoscenza.

La discussione epistemologica è stata spesso prodotta dal dubbio scettico secondo cui quello che crediamo potrebbe essere falso. Benché nel corso della storia vi siano sempre stati scettici che hanno messo in discussione le pretese epistemiche degli individui, la sfida scettica più profonda è probabilmente quella lanciata da Cartesio, che apre le sue *Meditazioni metafisiche* (1647) sottoponendo a quanti più dubbi è possibile le nostre credenze ordinarie. Egli inizia con alcune comuni strategie per sollevare dubbi: per esempio fa notare che noi tutti siamo consapevoli di essere stati ingannati dai nostri sensi in qualche circostanza (ad esempio da illusioni percettive) e si interroga sul modo in cui possiamo sapere in un qualsiasi particolare momento di non essere ingannati nuovamente. Inoltre egli rileva che talvolta abbiamo fatto sogni così realistici che abbiamo pensato di essere svegli e che anche dopo il risveglio non siamo stati in grado di distinguerli dall'esperienza reale. Infine egli propone un'ipotesi che, qualora fosse vera, metterebbe in questione praticamente ogni nostra credenza. Secondo tale ipotesi noi saremmo la creazione di un genio maligno la cui principale preoccupazione è quella di ingannarci: a tal fine esso disporrebbe le cose in modo tale che si abbia l'impressione di vivere in un mondo reale, di avere un corpo reale e di conoscere altri individui, ma tutto ciò non sarebbe altro che una gigantesca illusione creata dal genio. Una volta sollevati tali dubbi, il compito dell'epistemologia è di superarli e dimostrare che l'uomo possiede una conoscenza autentica.

Un assunto epistemologico generale che risale a Platone è che la conoscenza è legata alla credenza (*doxa*), ma gode di uno statuto speciale: una sua proprietà specifica è che ciò che è conosciuto deve essere vero, mentre ciò che è creduto può essere falso. Quanto meno la conoscenza sembra perciò richiedere credenze vere. Ma ciò non è sufficiente, perché qualcuno la cui credenza vera è solo una congettura fortunata non si potrebbe certo dire che abbia una conoscenza autentica. Dunque si ritiene comunemente che la conoscenza sia una *credenza vera giustificata*. Questo pone il problema di ciò che costituisce la giustificazione.

Dobbiamo tuttavia notare che diversi epistemologi hanno messo in discussione la definizione di «conoscenza» come credenza vera giustificata: essi hanno proposto svariati controesempi che soddisfano la definizione ma non sembrano costituire casi di conoscenza. Un tipico controesempio implica un caso in cui una credenza è vera e in cui la persona ha informazioni che sembrano giustificarla, ma dove la relazione tra le informazioni giustificatorie e l'oggetto di credenza è inappropriata. Per esempio qualcuno potrebbe credere correttamente che davanti a lui vi è un oggetto a circa tre metri di distanza, dove la giustificazione è fornita dalla percezione. La scena potrebbe tuttavia essere il risultato di alcuni specchi disposti in modo tale che, sebbene vi sia realmente un oggetto a tre metri di distanza di fronte alla persona, l'oggetto della visione è un oggetto identico che si trova alle spalle di quella persona: di conseguenza quest'ultima non saprebbe realmente che l'oggetto è lì. I sostenitori della definizione di conoscenza come «credenza vera giustificata» hanno tentato di perfezionare la definizione di conoscenza per far fronte a questi esempi, dando luogo a una sequela di controesempi e definizioni.

In ogni caso, dopo aver definito la conoscenza, la questione centrale che si sono posti gli epistemologi è stata quella di specificare quale tipo di giustificazione si richiede per avere conoscenza. Nel corso della storia dell'epistemologia sono stati tentati diversi approcci (per esempio Platone e Cartesio hanno entrambi argomentato a favore di qualche forma di giustificazione *a priori* della conoscenza), ma la maggior parte degli epistemologi contemporanei adottano uno o l'altro di due fondamentali approcci alla giustificazione: il *fondazionalismo* o il *coerentismo*. L'approccio fondazionalista paragona la conoscenza a una struttura architettonica: la base per la maggior parte degli asserti conoscitivi è

un insieme di asserti *fondativi*, da cui vengono derivate altre conoscenze. Il problema a cui si trova di fronte il fondazionalista è quello di identificare gli asserti fondativi; in generale, i fondazionalisti fanno appello alle credenze percettive. Ad esempio, è possibile sostenere che vi sono oggetti di percezione diretta, chiamati *dati sensoriali*, che consistono di semplici qualità percettive, come le macchie di colore. Si sostiene che noi percepiamo direttamente questi dati sensoriali e dunque su di essi abbiamo credenze completamente giustificate; ogni altra conoscenza è logicamente derivata da tali credenze.

L'approccio coerentista ripudia completamente la nozione di fondamenti esterni a favore della giustificazione nella *relazione* tra credenze. L'idea è che, in un insieme di credenze, queste o sono coerenti tra loro oppure sono incoerenti. Alcune delle credenze che sono coerenti si giustificano l'un l'altra, in modo tale che, anche se nessuna di queste credenze può essere sostenuta indipendentemente dalle altre, nel suo insieme l'intera rete risulta stabile. Il coerentista generalmente si trova di fronte a due richieste di chiarimento. In primo luogo dovrà spiegare che tipo di relazione deve sussistere tra le credenze perché il loro insieme sia giustificato interamente; in secondo luogo dovrà chiarire perché si dovrebbe ritenere che la coerenza di un insieme di credenze, comunque sia caratterizzata, produca conoscenza.

In generale i punti deboli dell'approccio fondazionalista coincidono con i punti di forza dell'approccio coerentista e viceversa: il fondazionalista cerca di identificare alcune credenze che ci portino fuori dalla nostra struttura di credenze e ci pongano a diretto contatto con il mondo esterno, ma si trova di fronte alla difficoltà di identificare quali credenze possono stare per proprio conto in quanto asserti conoscitivi. Sembra che la maggior parte delle nostre credenze, anche le nostre credenze percettive, siano interconnesse e dipendano l'una dall'altra. Il coerentista evita la difficoltà del fondazionalista concentrando tutta la sua attenzione sull'interconnessione delle credenze; tuttavia, a questo punto il coerentista si trova di fronte al problema di spiegare perché la coerenza dovrebbe fornirci indicazioni sulla realtà della natura. Attualmente nella letteratura epistemologica si possono trovare sofisticate versioni di entrambi gli approcci e ciascun partito ha tentato di cooptare alcuni dei punti di forza dell'altro.

I problemi dell'epistemologia sono evidentemente di grande rilevanza per la filosofia della scienza, specialmente nella misura in cui si ritiene che gli asserti scientifici costituiscano casi paradigmatici di conoscenza. La tradizione del neopositivismo logico, ad esempio, adotta l'approccio fondazionalista e cerca di giustificare la nostra conoscenza delle teorie scientifiche mostrando come tali teorie sono fondate sulla percezione. I critici del programma positivista hanno criticato l'idea di una base osservativa pura ed oggettiva che fonda le teorie scientifiche, sollevando con ciò interrogativi fondamentali relativi a come devono essere giustificate le credenze.

2.4. La Teoria del Valore

Alcune delle aree della filosofia esaminate possiedono già una dimensione normativa. Il termine «normativo» implica un interesse per i canoni a cui ci si *dovrebbe* conformare, non una semplice descrizione della realtà delle cose. La logica, ad esempio, è generalmente concepita come normativa in quanto ricerca i canoni delle argomentazioni valide, così come è normativa l'epistemologia, dato che aspira a canoni che consentano di valutare se qualcuno possiede la conoscenza o soltanto una credenza.

Molti altri domini della filosofia sono più chiaramente interessati ai valori o all'analisi della fonte dei valori: tra queste si possono menzionare l'etica, che tenta di identificare le norme che dovrebbero guidare il comportamento umano; la filosofia politica, che si pone il problema di determinare quale tipo di stato dovrebbe essere creato; e l'estetica, che si propone di stabilire i giudizi di gusto. Tutti questi ambiti possono essere raggruppati sotto l'espressione "*teoria del valore*".

Uno dei problemi fondamentali che si pone in tutte le aree della teoria del valore è quello di determinare se sia possibile pronunciarsi su questioni di valore e istituire delle norme in modo razionale. A parere di Hume è impossibile derivare logicamente un asserto normativo, un asserto relativo al "dover essere", da un asserto descrittivo, la semplice affermazione di un fatto; ciò induce a ipotizzare che gli asserti normativi non siano razionalmente difendibili. Un compito fondamentale che

ha impegnato molti filosofi interessati alla teoria del valore è stato quello di cercare di mostrare che Hume era in errore e che è possibile derivare asserti normativi da informazioni puramente descrittive, o quanto meno che è possibile difendere razionalmente le nostre proposizioni valutative. Altri, che hanno accettato la tesi di Hume, hanno cercato di mostrare quale dovrebbe essere lo status accordato agli asserti di valore qualora non si cerchi di giustificarli razionalmente.

Nella maggior parte dei casi i problemi della teoria del valore sono molto distanti dagli interessi della filosofia della scienza. Vi sono tuttavia alcune intersezioni su cui è opportuno soffermarsi brevemente. Alcuni scienziati, specialmente quelli impegnati nelle discipline più teoriche e matematiche, parlano spesso della "eleganza" di una particolare teoria, suggerendo che le teorie della natura dovrebbero conformarsi a un canone estetico. Una versione di questa prospettiva è la concezione secondo cui si dovrebbe preferire una teoria più *semplice* a una più complessa purché rispettino entrambe il principio dell'adeguatezza empirica. Negli ultimi decenni si è sviluppata anche l'interazione tra la teoria morale e politica e la filosofia della scienza, specialmente in seguito ad una accresciuta consapevolezza delle conseguenze della scienza. In tal modo si sono prodotti svariati argomenti a favore della tesi che alcuni problemi, come la questione delle basi genetiche dell'intelligenza, non dovrebbero essere oggetto di indagini scientifiche, considerate il danno che potrebbe venir arrecato dalla conoscenza delle risposte a simili problemi. A tale proposito alcuni hanno sostenuto che la ricerca scientifica andrebbe concepita come una forma di azione e sottoposta agli stessi criteri morali a cui si sottomette ogni altra azione umana; ne consegue che entrerà di diritto a far parte della filosofia della scienza tutta la discussione relativa ai problemi morali che possono scaturire dalla ricerca scientifica.

3. *Teorie Filosofiche intorno alla Scienza*

Fin qui si è visto quali sono i principali problemi di cui si occupa la filosofia della scienza e in che modo le diverse aree della filosofia possano intervenire nella risoluzione di questi problemi. In questa sezione analizzeremo, in breve, le risposte che a questi problemi hanno dato le più autorevoli teorie filosofiche sviluppate intorno alla scienza, teorie che si collocano all'interno della lunga riflessione sulla conoscibilità del mondo e sulla verità delle indagini razionali su di esso compiute dallo spirito scientifico nel corso degli ultimi quattro secoli.

Si tratta di un cammino piuttosto complesso, che va dal positivismo logico (con la sua preoccupazione per gli aspetti di carattere logico della spiegazione scientifica), fino a quella che è stata considerata la *nuova filosofia della scienza* post-positivista (interessata a problemi quali il rapporto tra percezione e teoria e la natura della scoperta, del progresso e delle rivoluzioni scientifiche), passando per il punto di vista transitorio del falsificazionismo di Popper.

3.1. *Il Positivismo Logico*

Lungo gran parte del Novecento il "positivismo" ha dominato la riflessione intorno alla scienza. Il termine fu introdotto in filosofia da Comte per indicare lo stadio "scientifico" del sapere umano (stadio che succede a quelli teologico e metafisico) e generalmente è utilizzato per riferirsi ad un empirismo serrato, che riconosce come valida ed utile soltanto la conoscenza basata sull'esperienza e respinge ogni ricerca astratta e metafisica come priva di valore.

Durante gli anni Venti del Novecento il positivismo maturò come filosofia della scienza nella forma del *positivismo logico*. Sviluppato dal gruppo di filosofi e scienziati del Circolo di Vienna, il positivismo logico accetta come sua dottrina centrale la teoria *verificazionista* del significato sviluppata da Wittgenstein. Stando a questa teoria, un enunciato è dotato di significato solo se esiste un metodo per verificarlo empiricamente. Questo criterio venne adottato nel tentativo di differenziare gli enunciati scientifici (significativi) da quelli puramente metafisici (privi di significato). Fu questo uno dei problemi di partenza della riflessione neopositivista.

Secondo il positivismo logico, la verità degli enunciati universali scientifici deriva dalla possibilità di una verifica, di un test empirico. Ma un numero *finito* di verifiche empiriche non potrà mai

garantire la verità di un enunciato universale. E' lo stesso problema che già Hume aveva sollevato nel corso delle sue indagini scettiche: l'inferenza induttiva non può mai essere giustificata in termini puramente logici.

In risposta a queste difficoltà Carnap sviluppò una versione moderata del positivismo che avrebbe costituito l'approccio standard della filosofia della scienza per quasi tutta la prima metà del Novecento (dalla versione moderata di Carnap ebbe origine la corrente dell'*empirismo logico*. Solitamente positivismo logico ed empirismo logico vengono raggruppati sotto il termine di *neopositivismo*).

3.2. L'Empirismo Logico

Carnap sostituì il concetto di verifica con la nozione di «conferma gradualmente crescente». Se «verifica» significa infatti «stabilire la verità in maniera completa e definitiva», allora non è mai possibile verificare in modo conclusivo una qualsiasi proposizione scientifica. Esse possono però essere «confermate» da verifiche empiriche ad esito positivo. La scienza progredisce quindi grazie all'accumulo di queste conferme, conseguite in condizioni e circostanze molto diverse.

Secondo gli empiristi logici, ogni conoscenza scaturisce dall'osservazione. Questo conduce da entità osservabili a generalizzazioni empiriche. Man mano che le nostre idee si sviluppano, tramite un processo deduttivo sviluppiamo teorie in grado di spiegare queste generalizzazioni; a questo punto abbiamo bisogno di nuove evidenze che confermino o contraddicano la teoria. Lungo tutto il processo (che, con un termine molto generale, possiamo indicare come *metodo nomologico-deduttivo*), la precedenza è data ai dati osservativi. Si tratta dunque, sostanzialmente, di un processo induttivo: il processo conoscitivo della scienza si sviluppa in senso ascendente, dai dati osservativi ai concetti teorici, fino a raggiungere la comprensione del fenomeno.

Ciò che caratterizza l'empirismo logico è una sorta di metodo induttivo statistico. In quest'ottica, la scienza nasce dall'osservazione e le teorie scientifiche sono giustificate dall'accumulo di ulteriori osservazioni, che forniscono un supporto probabilistico alle teorie stesse.

Tutto il programma neopositivista mirava dunque alla costruzione controllata di una concezione scientifica del mondo che avesse la sua immagine speculare, ed opposta, nella metafisica. L'inconsistenza referenziale della metafisica, la sua vaghezza semantica, la sua pseudo-logica fornivano il riferimento polemico per la costruzione di un modello alternativo di sapere scientifico.

Il progetto neopositivista si muoveva infatti, come abbiamo visto, lungo due direttrici profondamente intrecciate. La prima (la direttrice *empirica*) indica che una proposizione dotata di significato conoscitivo dev'essere funzione di verità di proposizioni atomiche (non ulteriormente riducibili), tali da essere empiricamente controllabili; la seconda (la direttrice *logica*) valorizza l'analisi logica al fine di garantire la costruzione corretta degli enunciati nonché la loro riconducibilità al dato sensibile. Ciò significa escludere, per definizione, la legittimità conoscitiva degli enunciati metafisici.

Il pregio fondamentale di questo progetto è stato l'aver posto una condizione restrittiva per dare significato anche ad asseriti empiricamente problematici (si pensi a certi enunciati della fisica relativistica o della fisica quantistica) quando siano, almeno in linea di principio, verificabili e quindi scientificamente accettabili, senza comunque legittimare tutti gli enunciati non verificabili e senza aprire a una metafisica del relativismo o dell'indeterminazione.

L'uso che gli empiristi logici hanno fatto di una relazione probabilistica tra *explanans* ed *explanandum* non risolve certo il problema dell'induzione. Occorre pur sempre dimostrare come un numero finito di osservazioni possa condurre alla conclusione logica che un enunciato universale sia «probabilmente vero». E, comunque, ogni tentativo di giustificare l'induzione sulla base dell'esperienza è necessariamente circolare. L'argomento che l'induzione ha funzionato con successo nel passato è esso stesso un argomento induttivo e non può essere utilizzato per difendere il principio di induzione.

Oltre al problema dell'induzione, l'empirismo logico incontrò ulteriori difficoltà dovute alla convinzione che la scienza si poggia su di una sicura base osservativa. Questa convinzione causa almeno due grossi problemi: (1) ogni osservazione è sempre soggetta ad un errore di misura; (2) l'osservazione è strettamente legata alle ipotesi teoriche e da esse dipende. Certamente, il fatto che ogni osservazione sia "carica di teoria" di per sé non respinge la posizione dell'empirismo logico. Essa, tuttavia, pone il dubbio che la scienza sia ancorata con sicurezza all'osservazione oggettiva della "realtà".

Sviluppando il suo falsificazionismo, Popper ha offerto un metodo alternativo di giustificazione delle teorie, pensato per superare alcune delle difficoltà inerenti all'empirismo logico.

3.3. Il Falsificazionismo di Popper

Si è già accennato al problema dell'*induttivismo*. Molte forme di *induttivismo* rispondono alla domanda "che cos'è la scienza?" nel modo seguente: una teoria è scientifica se e solo se i dati che abbiamo a disposizione le forniscono sostegno empirico in base ad argomenti *induttivi*.

Una versione (la più semplice) di induttivismo prevede che le leggi scientifiche siano essenzialmente *generalizzazioni a partire dall'"osservazione"* secondo uno schema di questo tipo:

a_1 ha la proprietà P
 a_2 ha la proprietà P
 a_3 ha la proprietà P
 ...

dunque: tutti gli a hanno la proprietà P

Ecco, per esempio, il "principio d'induzione" secondo B. Russell:

"Questo principio si potrebbe chiamare di induzione, e i due punti di cui consta si potrebbero esprimere così:

- a) quando una cosa di tipo A si presenta insieme a una cosa di altro tipo B , e non si è mai presentata separatamente da una cosa del tipo B , quanto più grande è il numero dei casi in cui A e B si sono presentate assieme, tanto maggiore è la probabilità che si presenteranno assieme in un nuovo caso in cui si sa che A è presente;
- b) in circostanze uguali, un numero sufficiente di casi in cui due fenomeni si siano presentati assieme farà della probabilità che si presentino ancora assieme quasi una certezza, e farà sì che questa probabilità si avvicini illimitatamente alla certezza" (*I problemi della filosofia*, 1912).

Ed ecco Popper sull'induzione e su come si arriva a formulare una teoria:

"L'induzione, cioè l'inferenza fondata su numerose osservazioni, è un mito. Non è né un fatto psicologico, né un fatto della vita quotidiana, e nemmeno una procedura scientifica" (*Congetture e confutazioni*, 1963).

Al contrario dei positivisti, Popper accettò il fatto che ogni osservazione presuppone sempre l'esistenza di un qualche sistema di aspettative e non può mai essere pura e neutrale (si ricordi l'esempio delle immagini ambigue: papero/coniglio, anziana/giovane).

Per articolare il suo punto di vista, Popper insiste sulla *asimmetria logica* di *verificazione* e *falsificazione*.

Prendiamo una proposizione come "tutti i cigni sono bianchi". Se osserviamo un cigno nero, cioè se abbiamo ragione di ritenere vera, per es., " a è un cigno, ma è nero", allora, per la regola logica di *modus tollens*, possiamo *dedurre* che "non tutti i cigni sono neri", cioè che la nostra ipotesi è falsa. Ma, per quanti possano essere i cigni bianchi che abbiamo già osservato, non potremo *mai* inferire con certezza che l'ipotesi è vera (es.: il "tacchino induttivista").

Popper trae la conclusione che ciò che è essenziale per la conoscenza è l'evidenza negativa o falsificante, che ci permette di correggere i nostri errori e migliorare le nostre teorie, cioè di mettere da parte le teorie falsificate e sostituirle con nuove ipotesi, da mettere a loro volta alla prova.

Per Popper il processo scientifico ha dunque inizio proprio quando i dati osservativi si scontrano con le credenze e le teorie esistenti, causando un nuovo problema. Per risolvere questo problema viene allora proposta una nuova teoria, le cui conseguenze logiche (le ipotesi formulate) devono essere sottoposte a rigorose verifiche empiriche. Scopo della verifica è di confutare, di falsificare l'ipotesi proposta, non di verificarla. Quando riusciamo a falsificare le predizioni proposte da una teoria essa va abbandonata. Le teorie che sopravvivono al processo di falsificazione sono invece "corroborate" dal processo e accettate provvisoriamente.

Di contro alla concezione di conferma induttiva gradualmente crescente, il falsificazionismo viene a sostituirsi alla necessità logica della deduzione e verifica: non dobbiamo cercare nuove conferme, ma una confutazione dell'ipotesi. La teoria di Popper mette infatti in luce il fatto che un enunciato universale può essere falsificato da un singolo caso che lo contraddice. Nell'approccio di Popper, se riusciamo a mostrare che le ipotesi derivate deduttivamente sono false, allora l'intera teoria viene confutata in quanto falsa. Il problema dell'induzione è dunque evitato negando che la scienza si fondi sull'inferenza induttiva. Secondo il falsificazionismo, dunque, la scienza progredisce grazie ad un continuo processo di "congetture e confutazioni". In questa prospettiva, scopo della scienza è di "risolvere problemi".

Centrale nella riflessione di Popper, così come lo era stato in quella neopositivista, è ancora il problema della demarcazione tra scienza e non-scienza. In conflitto con i neopositivisti, però, la sua posizione non prevede l'insignificanza degli enunciati metafisici, ma richiede di differenziare tipi diversi di enunciati, ugualmente significanti, ma diversamente confutabili. Questo significava, nel suo caso, decidere se e perché erano scientifiche teorie come la relatività, la psicanalisi o il marxismo:

"L'elemento più caratteristico di questa situazione mi parve il flusso incessante delle conferme, delle osservazioni, che "verificavano" le teorie in questione; e proprio questo punto veniva costantemente sottolineato dai loro seguaci" (*Congetture e confutazioni*, 1963).

Dal punto di vista di Popper, il metodo verificazionista incontra serie difficoltà. Anche se tutta la metafisica può essere espunta dal novero degli enunciati empiricamente controllabili, esistono infatti molti enunciati che hanno avuto un numero molto alto di conferme (come la psicanalisi, il marxismo e la psicologia adleriana) e che tuttavia non possono dirsi scientifici: tra scienza e metafisica, quindi, s'inserisce una terza categoria, che Popper chiama "pseudo-scienza", per la quale, come per la metafisica, deve valere un criterio di demarcazione diverso dal verificazionismo neopositivista. Popper insiste sul fatto che la falsificabilità è un criterio di demarcazione, non di significanza. Gli enunciati metafisici, come quelli pseudoscientifici, sono perfettamente significanti, ma sono erroneamente usati quando, senza essere confutabili, pretendono di riferirsi alla realtà.

Dunque per Popper:

- **Che cos'è la scienza?** Beh, una teoria è scientifica se e solo se è *falsificabile*, cioè se è logicamente incompatibile con certe proposizioni che descrivono fatti "osservabili" e dunque può essere da esse falsificata (nel caso che tali fatti si verificano).
(Si noti che, su queste basi, "esistono gli UFO" non è un'ipotesi scientifica: come potrebbe essere falsificata?)
- **Come funziona la scienza?** L'evoluzione della conoscenza scientifica è una successione di *congetture e confutazioni*. Certe ipotesi scientifiche vengono avanzate (liberamente) per spiegare un certo ambito di fenomeni e vengono assunte *provvisoriamente*. A questo punto, ciò che conta è *controllarle*.

Per Popper il controllo di una teoria non è altro che un tentativo di falsificazione, e deve trattarsi di un tentativo serio: la predizione deve essere il più possibile accurata e rischiosa. Tanto più lo è, tanto più il controllo è severo. (Per es., per Popper l'astrologia non è una scienza, perché gli oroscopi sono vaghi...) Se una teoria è confutata dai controlli severi a cui la sottoponiamo, viene accantonata e

sostituita con una nuova ingegnosa congettura. Se *supera* i controlli severi, allora viene conservata (ma *sempre provvisoriamente*, fino a che non si presenta altra eventuale evidenza falsificante!). In questo modo, secondo Popper, la scienza *progredisce*, perché gli errori vengono corretti, cioè le teorie coraggiose e ingegnose, ma che si rivelano false, vengono eliminate.

3.3.1. Alcuni esempi di falsificazionismo vs induttivismo

1) La scoperta della prima legge di Keplero (*Astronomia nova*, 1609)

Prima legge di Keplero: *i pianeti descrivono orbite ellittiche, con il Sole in uno dei fuochi.*

Tra il 1576 e il 1579 Tycho Brahe, un astronomo danese, esegue una lunga serie di osservazioni astronomiche, la maggior parte delle quali relative al moto dei pianeti. Il telescopio non è ancora stato inventato e le osservazioni di Tycho sono le più accurate mai compiute a occhio nudo. Nel 1597 Brahe lascia la Danimarca per assumere l'incarico di Matematico imperiale alla corte dell'imperatore Rodolfo II, a Praga. Qui, nel 1600, prende il giovane ceco Johannes Keplero come assistente.

Keplero partì dai dati di Tycho e si ripropose per prima cosa di descrivere l'orbita del pianeta Marte.

la posizione x_1 di Marte giace su un'ellisse con il Sole nel fuoco f_1

la posizione x_2 di Marte giace su un'ellisse con il Sole nel fuoco f_1

la posizione x_3 di Marte giace su un'ellisse con il Sole nel fuoco f_1

...

tutte le posizioni di Marte giacciono su un'ellisse con il Sole in un certo fuoco

L'idea che il lavoro di Keplero possa essere descritto in modo plausibile come una generalizzazione induuttiva a partire dall'osservazione di questo tipo non regge.

- 1) Le premesse di un argomento del genere hanno senso solo se si decide di descrivere le posizioni di Marte in un sistema di riferimento eliostatico (copernicano). Keplero era già un copernicano convinto, ma Tycho no, e la scelta del sistema di riferimento *non era affatto contenuta* nell'"informazione osservativa" che il secondo lasciava al primo, ma senza questa scelta la scoperta della legge sarebbe stata impossibile.
- 2) Anche tralasciando questo, c'è il problema dell'"adeguamento della curva" o *curve-fitting problem*, che non è altro che una versione del problema dell'induzione: per quante siano le posizioni osservate, le orbite sulle quali esse giacciono sono certamente *moltissime*, in che modo Keplero può essere giunto proprio all'ellisse?
(In particolare, si può dimostrare che Keplero avrebbe potuto accomodare i suoi dati utilizzando una strategia del tutto comune nella tradizione astronomica: descrivere l'orbita come la combinazione di *diverse circonferenze* - un *deferente* e diversi *epicicli*.)

Ma allora: come sono andate le cose?

- Keplero forse già sapeva, o capì molto in fretta, che i dati di Tycho contraddicevano una prima ipotesi molto naturale: un'orbita circolare con il Sole nel centro;
- ...ne elaborò allora un'altra: orbita circolare con il Sole decentrato. Riempì più di 900 (!) fogli di calcoli per dedurre a partire da questa ipotesi "previsioni" da confrontare con i dati di Thyco: alcune risultarono in accordo con essi, altre no.
- Altra ipotesi: un sistema deferente-epiciclo che generava una specie di curva "a uovo". Ma anche questa ipotesi non si accordava con i dati.

- Infine, Keplero considerò l'ipotesi dell'ellisse, che i dati a sua disposizione *non smentirono*.

⇒ congetture e confutazioni!

2) Semmelweiss e la febbre puerperale

Ignaz Semmelweiss (1818-65) era ungherese. Va a studiare medicina a Vienna e negli anni '40 dell'Ottocento comincia a lavorare nel grande *Allgemeines Krankenhaus* (Ospedale Generale).

L'ospedale aveva un reparto maternità che per i tempi era enorme. Quando Semmelweis comincia la sua carriera, uno dei rischi più pericolosi del parto è una malattia spesso mortale nota come "febbre puerperale", perché, generalmente, colpisce durante il *puerperium*, il periodo di circa 6 settimane dopo il parto quando l'utero ritorna alla grandezza e alla forma normale.

Le strutture che l'ospedale offre alle partorienti sono *due distinte cliniche* di ostetricia. Fino al 1840 *entrambe* le cliniche vengono utilizzate per la formazione di studenti di medicina e levatrici (ostetriche), ma a partire dal 1841 i futuri medici fanno le loro esercitazioni solo nella *prima* clinica e le apprendiste levatrici solo nella *seconda*. Fino al 1840 la mortalità per febbre puerperale nelle due cliniche è comparabile, ma a partire dall'anno successivo è di quasi *tre volte* maggiore nella prima che nella seconda. Semmelweiss è perplesso e si interroga sulle cause di questa impressionante differenza.

Si produsse una considerevole serie di congetture:

La febbre puerperale è causata fattori "atmosferici, cosmici, tellurici".

Si tratta di una versione della cosiddetta "teoria miasmatica" delle malattie, molto popolare all'epoca, secondo la quale le malattie sono dovute a un'atmosfera putrida o "miasma". (La teoria è sostenuta da quella che gli studiosi dell'epoca considerano una notevole quantità di evidenza favorevole: la malaria, per esempio, si manifesta spesso in zone paludose, e malattie di ogni tipo sembrano più comuni nei bassifondi, nelle caserme, nelle navi, e negli ospizi di mendicizia, tutti sovraffollati, dove l'atmosfera è spesso malsana.)

Ma: le due cliniche si trovano nello stesso edificio e hanno persino un'anticamera in comune.

La febbre puerperale è causata dal sovraffollamento.

Ma: la *seconda* clinica, nella quale le morti erano *meno* frequenti è di norma *più* affollata dalla prima (la quale, comprensibilmente, si guadagna ben presto una fama nefasta e che i pazienti tendevano il più possibile a evitare...).

La pratica clinica degli studenti di medicina (specialmente quelli stranieri) è meno accurata delle studentesse di ostetricia (elaborata da una commissione riunita apposta).

Il numero degli studenti viene ridotto drasticamente, gli stranieri vengono quasi completamente esclusi, le loro attività con i pazienti ridotte al minimo.

Ma: la proporzione fra i tassi di mortalità resta alta.

La febbre puerperale è l'effetto dell'apparizione di un prete che somministra l'estrema unzione a una paziente morente.

Infatti, la sistemazione delle stanze richiede che, nella prima clinica, per raggiungere la paziente il sacerdote debba attraversare diversi locali di ricovero, mentre nella seconda egli poteva accedere direttamente alla stanza dell'interessata. L'ipotesi è dunque che l'effetto psicologico terrificante dell'apparizione del sacerdote debiliti le pazienti della prima clinica, rendendole più soggette alla febbre puerperale.

"Durante il mio primo periodo come assistente feci appello al senso di umanità del servitore di Dio, e senza difficoltà fu stabilito che, per il futuro, i preti avrebbero seguito una strada indiretta per raggiungere la camera dell'inferma in silenzio e senza essere osservati. Le due cliniche furono così rese simili in questo rispetto, **ma la differenza nella loro mortalità rimase ancora.**" (Semmelweiss)

Come si vede, la situazione è molto popperiana. Chiamiamo *A* la proposizione che descrive la differenza dei tassi di mortalità fra la clinica 1 e la clinica 2. Semmelweiss elabora delle ipotesi dalle quali si possa dedurre la proposizione *A*. Dopodiché deduce da queste ipotesi *altre* previsioni (in particolare, la previsione che, una volta eliminato il fattore di volta in volta incriminato, la differenza fra la clinica 1 e la clinica 2 sparisca) e controlla se tali previsioni sono o meno corrette. Con questo procedimento numerose ipotesi vengono formulate, controllate e confutate.

Nel 1847 un professore di medicina che Semmelweiss conosce bene muore a seguito del manifestarsi di sintomi simili a quelli della febbre puerperale poco dopo essere stato accidentalmente ferito a un dito nel corso di un'autopsia.

Semmelweiss considerò che gli studenti di medicina (ma *non* le studentesse di ostetricia) alternavano le visite alle pazienti con esercitazioni che spesso consistono nella sezione di cadaveri lavandosi semplicemente le mani con acqua e sapone. Formulò così l'ipotesi che *la febbre puerperale sia dovuta alla trasmissione di "particelle" cadaveriche (che resistono al lavaggio con acqua e sapone) alle partorienti da parte del personale medico che le visita.*

Per controllare l'ipotesi (tentare una sua falsificazione) Semmelweiss dispone che gli studenti di medicina si lavino con una sostanza disinfettante.

Il risultato è clamoroso: nel 1848 i tassi di mortalità nella prima e nella seconda clinica *sono praticamente identici.*

La scoperta di Semmelweiss può risultare ovvia ai nostri occhi, ma fu ferocemente osteggiata dalla comunità dei medici del suo tempo. La sua teoria fu respinta e dimenticata, gli fu impedito di continuare a esercitare la sua professione, morì ancora giovane e folle.

3.3.2. Problemi del falsificazionismo

Nonostante che, in apparenza, gran parte della pratica scientifica si accordi col resoconto falsificazionista, la versione popperiana del metodo scientifico solleva seri problemi. Ad esempio, Duhem ha notato che è impossibile confutare in maniera definitiva una teoria, poiché le situazioni reali di verifica non dipendono solo dalla teoria sotto esame, ma anche da molti altri fattori. La tesi di Duhem-Quine fa appunto notare che proprio a causa del fatto che ad essere sbagliate potrebbero essere non la teoria, ma le *assunzioni di fondo* – imprecisioni nei dispositivi di controllo, effetti di processi fisici sconosciuti o erroneamente trascurati, o cose simili – ogni risultato della verifica può essere razionalmente ignorato o spiegato introducendo *ipotesi ad hoc* che alterino le assunzioni di fondo.

Il riconoscimento che teorie scientifiche accettate da tempo possano sopravvivere alla confutazione, nonostante sollevino numerose anomalie, e il fatto che, spesso, le nuove teorie progrediscono nonostante i loro fallimenti empirici, spinse alcuni pensatori, durante gli anni Cinquanta, a rifiutare la visione positivista di Popper e degli empiristi logici. Alcuni filosofi e storici notarono infatti che la pratica scientifica è spesso governata e diretta da un preciso "quadro concettuale", o "visione del mondo", che ha la tendenza a resistere al mutamento. In particolare, Kuhn fece notare che un quadro concettuale difficilmente può essere rovesciato da una singola anomalia. Il modello proposto da Kuhn diede origine ad un nuovo approccio filosofico attento al quadro concettuale che guida l'attività di ricerca scientifica.

Alcuni esempi di teorie che sollevano questi problemi:

1) Galileo e l'argomento della torre

Galileo era, in astronomia, un convinto copernicano. Gli aristotelici e sostenitori del sistema tolemaico opponevano, tra l'altro, ai copernicani un'obiezione nota come "l'argomento della torre". Se la terra fosse in movimento come sostiene Copernico, argomentavano, un corpo gettato da una

torre dovrebbe giungere a terra a una certa distanza dalla base della torre in una posizione che risulterebbe dalla combinazione del suo moto verticale e quello della Terra. Avviene però l'esatto contrario, il che falsifica il sistema copernicano.

Il sistema copernicano venne per questo abbandonato da Galileo? NO.

Piuttosto, nel *Dialogo sui massimi sistemi* affronta l'obiezione invocando un *principio di inerzia circolare*, che attribuisce a sistemi in movimento circolare con velocità angolare costante (Galileo considerava la Terra uno di questi) le stesse proprietà che valgono per sistemi in moto rettilineo uniforme (come può essere una nave o un'automobile) e nei quali in particolare - argomenta Galileo - *solo i moti relativi sono operativi*.

2) Newton, Laplace e Napoleone

Secondo un episodio che compare più nell'aneddotica, o addirittura nel "folklore", della scienza più che nella sua storia, all'inizio dell'Ottocento sarebbe successo su per giù quanto segue. Dopo che Pierre Laplace (uno dei più grandi scienziati della sua epoca, fervente newtoniano) ha presentato a Napoleone un'opera nella quale espone la sua "teoria dei cieli", ha luogo questo dialogo: Napoleone - "Vedo che nella sua opera non ha menzionato Dio"; Laplace - "Non ho avuto bisogno di questa ipotesi".

Alle spalle del fatto (o della leggenda) c'è però un problema serio. I calcoli di Newton e dei suoi allievi, fondati sulla teoria della gravitazione universale, non riuscivano a rendere conto del moto di Giove e Saturno e prevedevano un veloce e catastrofico collasso del sistema planetario. Ma naturalmente il sistema solare sembrava essere in uno stato di ragionevole equilibrio da un bel po' di tempo.

La meccanica newtoniana venne per questo abbandonata? NO.

I newtoniani affrontarono il problema sostenendo che Dio, di tanto in tanto, ristabiliva l'equilibrio del sistema (!).

(Vale la pena di ricordare che Newton era anche filosofo e teologo e si prese la pena di difendere in modo agguerrito il suo Dio "interventista" da quello "orologiaio" dei rivali cartesiani).

3) Newton vs. Flamsteed

"Flamsteed, l'astronomo reale del tempo di Newton, mandò a quest'ultimo una tavola di dati sul moto lunare che mostravano che la teoria di Newton non funzionava..."

Newton abbandona per questo la sua teoria? Neanche per sogno.

"...Newton, ricevuti questi dati, prende una carrozza e si precipita a Greenwich dove incontra Flamsteed e gli dice: 'Assumiamo che qui ci sia la Terra e qui la Luna; come fate a calcolare dalle vostre osservazioni la vera posizione della Luna dato che i raggi di luce quando raggiungono l'atmosfera si rompono? Se osserviamo la Luna da questo punto, la vediamo come se fosse qui, proprio a causa di questo fenomeno. Così', dice Newton, 'ho il sospetto che non siano le mie quattro leggi a essere sbagliate, ma la vostra teoria della rifrazione atmosferica.' 'Qual è la vostra teoria della rifrazione atmosferica?' chiede Flamsteed. E Newton: 'Va bene: vi manderò una spiegazione della mia teoria della rifrazione atmosferica; dopo ricalcolate le vostre tabelle, ma non vi preoccupate di mandarmele perché sono sicuro che, dopo aver tenuto conto dell'effetto di rifrazione, andranno bene'."

3.4. Kuhn e le Rivoluzioni Scientifiche

Osservazioni ben documentate su casi di questo tipo (e altri ancora) che sembrano sfuggire alla rappresentazione popperiana dell'alternarsi di *coraggiose congetture* ed emozionanti *tentativi di confutazione* emergono chiaramente dal lavoro di autori come Thomas Kuhn (1922-1996) e Paul Feyerabend (1924-1994).

A Kuhn si deve la prima organica e influente organizzazione di elementi filosofici, storici ed epistemologici nella descrizione dello sviluppo delle teorie scientifiche: la pubblicazione de *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* di Thomas Kuhn (1962) è, dal punto di vista storico, un punto di

svolta nella filosofia della scienza del Novecento. Kuhn lancia alla filosofia della scienza una sfida formidabile basandosi sulla *storia* della scienza.

Ecco come *inizia* *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*:

“La storia, se fosse considerata come qualcosa di più che un deposito di aneddoti o di una cronologia, potrebbe produrre una trasformazione decisiva dell’immagine della scienza da cui siamo dominati.”

Riguardo a Popper i principali problemi che Kuhn solleva sono i seguenti:

- gli scienziati per lo più non sembrano affatto particolarmente interessati alle confutazioni;
- il lavoro dello scienziato (almeno in quelli che Kuhn chiama i periodi di “scienza normale” ispirata a un certo “paradigma”) non sembra affatto consistere nel “creare” nuove ingenose e ardite congetture, ma nel “risolvere rompicapi” all’interno di una tradizione ben consolidata;
- nemmeno quando un rompicapo risulta essere *particolarmente arduo e resistente* viene considerato come una confutazione, ma piuttosto come un’“anomalia” e, tipicamente, gli scienziati *non* abbandonano a causa sua la loro teoria preferita (che Kuhn chiama *paradigma*) per sostituirla con una nuova coraggiosa “congettura” creata dal nulla, ma piuttosto cercano ancora di “rattoppare” la teoria stessa per accomodare i dati recalcitranti e, se proprio non ci riescono, *li mettono da parte e aspettano che qualcosa succeda!*
- è quella speciale forma di *dogmatismo* che consiste nell’impegno ad articolare, estendere e difendere un certo paradigma il tratto caratteristico della scienza: la scienza (normale) è *risoluzione di rompicapi (puzzle-solving)*;
- è vero che numerose anomalie possono indebolire un paradigma, ma in generale esso non sarà abbandonato *a meno che e fino a che* non vi sia un’alternativa in qualche modo promettente;
- anche allora, però, cioè nel contesto dei periodi di *scienza rivoluzionaria*, non avviene nulla di simile a un dibattito e a una scelta fra teorie concorrenti “metodologicamente disciplinate”, ma piuttosto qualcosa di simile a una “conversione” (o un “riorientamento gestaltico”) all’interno della comunità dei ricercatori, e soprattutto da parte di quelli più giovani;
- infine, le rivoluzioni scientifiche sono processi altamente *non-cumulativi*, sicché, mentre parlare di progresso *all’interno* di un paradigma non dà problemi, parlare di progresso *attraverso le rivoluzioni* è azzardato.

Centrale in Kuhn è la nozione di *paradigma*. Un paradigma è costituito dalle nozioni di base con cui si articola una scienza: consiste in una visione del mondo, storicamente sedimentata e socialmente condivisa, capace d’istituire una pratica formativa dei futuri scienziati, in grado di fissare la lista dei problemi della ricerca, nonché di stabilire le procedure di verifica sperimentale ritenute accettabili.

La pratica scientifica si sviluppa in una fase di scienza “normale”, che consiste nell’affrontare problemi e anomalie - detti “rompicapo” - con gli strumenti tecnici e concettuali offerti dal paradigma. Quando questa pratica non sortisce l’effetto di ricondurre l’anomalia all’interno della spiegazione paradigmatica, ma anzi aumenta e ingrandisce le difficoltà, si può andare incontro a una fase di scienza “straordinaria”, in cui si agisce ipotizzando anche delle modifiche al paradigma, generando spesso una competizione tra teorie conflittuali, e giungendo infine a formulare teorie che si sostituiscono in tutto o in parte al paradigma. Si può così arrivare, in taluni casi, a una vera e

propria *rivoluzione scientifica*, che consiste nella formulazione di un diverso paradigma, in grado di affrontare e risolvere le anomalie precedentemente incontrate e capace di ottenere il consenso e la legittimazione nella comunità degli scienziati.

Un paradigma include un certo numero di teorie specifiche che dipendono, in parte, dalle credenze metafisiche condivise dalla comunità scientifica: per esempio, la realtà dello spazio assoluto, la tesi della conservazione della massa, l'esistenza dell'etere come mezzo di vibrazione per la trasmissione delle onde luminose, ecc. Uno scienziato, cioè, agisce entro un quadro di nozioni fortemente influenzato da elementi di tipo metafisico. Non fa tuttavia metafisica, poiché è in grado, all'occorrenza, di modificare queste assunzioni, sottoponendone alcune conseguenze al controllo empirico, o valutando le difficoltà teoriche o concettuali che derivano dalla loro assunzione in rapporto a teorie ritenute accettabili ma in contrasto con elementi paradigmatici.

Per Kuhn nessun gruppo scientifico potrebbe praticare il proprio mestiere senza un qualche insieme di credenze ricevute, credenze non più ulteriormente discusse, assunte come valide e per questo capaci di orientare la pratica scientifica normale. Il paradigma appare quindi come una sorta di filtro concettuale, che la scienza normale può articolare meglio, ma non correggere. In secondo luogo, esistono, nel lavoro scientifico, delle fasi di competizione e di confronto dialettico tra posizioni teoriche divergenti e anche, in certi casi, tra teorie generali che si candidano a sostituire un paradigma in crisi. Nella scienza la discussione non verte solo su ipotesi e procedure di controllo relativamente a teorie empiriche, ma alimenta un confronto generale sui principi e sulle nozioni chiave della pratica scientifica, e tale discussione produce delle scelte razionalmente assunte.

Alla base del lavoro scientifico, nella sua fase normale, per Kuhn s'installa dunque un nucleo di sapere non confutato, anche se non inconfutabile. Di qui deriva la sostanziale insoddisfazione di Kuhn per il falsificazionismo popperiano, adeguato al più per spiegare le fasi propriamente rivoluzionarie del processo scientifico.

La scienza si distingue dunque dalla pseudo-scienza in virtù dell'esistenza di una tradizione di rompicapo basata su criteri concettuali condivisi, e progredisce appunto grazie a cambiamenti di paradigma, equivalenti a rivoluzioni scientifiche, che però non garantiscono il progresso della conoscenza o l'avvicinamento alla verità.

Apparentemente, la teoria di Kuhn chiama in causa un forte relativismo e non è in grado di risolvere uno dei presupposti della posizione popperiana: diverse teorie scientifiche sono sempre in competizione, anche in fasi che Kuhn chiamerebbe di scienza normale. Criticando questa posizione alcuni scrittori (tra cui Lakatos e Laudan) hanno suggerito, negli ultimi decenni, dei modelli alternativi della nozione di "quadro concettuale", in grado di rendere conto, in maniera più fedele e razionale, dell'effettiva pratica di ricerca scientifica.

3.5. *Feyerabend e l'anarchismo metodologico*

Una posizione *sui generis* (qui delineata solo in breve) è quella che Paul Feyerabend ha tratto muovendo dalle difficoltà dei tentativi come quello di Popper di creare una teoria generale della scienza.

In realtà "Non esiste nessun insieme finito di regole generali che abbia contenuto (cioè comandi o vietati procedure ben definite) e sia compatibile con tutti gli eventi che hanno segnato la nascita e il progresso della scienza moderna" (*Addio alla ragione*, 1987).

Questa è l'enunciazione di ciò che Feyerabend chiamò *anarchismo metodologico*: gli scienziati (specie quelli migliori) sono degli "opportunisti metodologici", geniali e imbroglioni e ogni *teoria generale della scienza* è impossibile.

Questo ha almeno due importanti conseguenze:

- da una parte, la scienza e gli scienziati vanno *liberati* dalle gabbie che le filosofie della scienza vorrebbero imporre ("libertà per la scienza");
- dall'altra, la società va *liberata* dalla soggezione per la presunta superiorità intellettuale (la "razionalità") della scienza - che è fondata sull'ignoranza e il fraintendimento di quello che è il suo reale funzionamento - e deve essere in grado di decidere in modo

completamente libero, democratico e autonomo *se e come* recepire ciò che la scienza elabora e produce (“libertà dalla scienza”, o anche “separazione di Stato e Scienza”).

A sostegno di questa “volontà” di libertà Feyerabend afferma che la storia della scienza insegna che è la critica che proviene da un punto di vista esterno, eretico, rivoluzionario che promuove la “dinamica” della scienza sollecitando l’articolazione, l’esplicitazione e la discussione di dettagli o premesse che restavano in ombra o erano erroneamente dati per scontati.

Per Feyerabend l’unico “progresso” che la scienza (come la vita) può conoscere sta nell’arricchimento, nella proliferazione delle alternative e dei punti di vista contrastanti e l’unica “regola” da raccomandare è l’incoraggiamento spregiudicato di tale proliferazione.

4. Conclusioni

La filosofia della scienza non è, per lo meno in primo luogo, uno studio empirico della scienza. I filosofi della scienza si preoccupano principalmente di ciò che può essere considerato un «chiarimento concettuale», un tipo di investigazione critica ed analitica della scienza. La filosofia della scienza tenta di rispondere a domande del tipo: che cosa costituisce una spiegazione scientifica e in che cosa la metodologia scientifica si distingue dalle procedure tramite cui acquisiamo abitualmente conoscenza? In che modo dobbiamo giustificare le pretese epistemiche della scienza riguardo la conoscenza dell’invisibile struttura sottostante i fenomeni del mondo?

Nella prima parte di questa dispensa abbiamo visto come la filosofia della scienza, per rispondere a queste domande, abbia bisogno di attingere dalle aree principali della filosofia, in particolare dalla logica, dalla metafisica e dall’epistemologia. I problemi e i mezzi concettuali che da queste discipline derivano si sono concretizzati, nel Novecento, nella riflessione filosofica intorno alla scienza, che abbiamo brevemente analizzato passando in rassegna, nella seconda parte, le più autorevoli teorie elaborate dai filosofi, prospettive dalle quali è emerso l’includibile e fecondo intreccio che lega scienza e filosofia.

Come nota conclusiva occorre notare che la filosofia della scienza non è ancora pervenuta alla sua meta. Le risposte che i filosofi hanno offerto a queste questioni possono essere infirmate e le loro opinioni non dovrebbero essere concepite come le autorità ultime a cui ricorrere per risolvere gli importanti problemi posti dalla scienza. Man mano che la scienza cresce, infatti, è possibile assistere ad un continuo sviluppo delle idee intorno alla natura della scienza. Solo a partire da Kuhn, ad esempio, sono stati riconosciuti sufficientemente gli aspetti sociali della conoscenza scientifica. In futuro potrebbero essere introdotte, o ricevere maggior rilievo, altre dimensioni ugualmente importanti. Fra i possibili candidati sono gli aspetti del pensiero umano che all’inizio abbiamo raccolto sotto il termine di teoria del valore.

In ogni caso, occorre tenere ben a mente quale sia il ruolo giocato dalla filosofia della scienza in questa discussione e la meta che essa si prefigge: quello della *legittimazione* della scienza, anche se spesso essa è impegnata dichiaratamente in chiarificazioni o critiche di ciò che gli scienziati fanno o dicono.

Bibliografia

Opere a carattere storico:

Brown, H. (1999). *La nuova filosofia della scienza*. Laterza, Roma-Bari.

Chalmers, A.F. (1999). *What is This Thing Called Science?*. Hackett, Indianapolis/Cambridge.

Losee, J. (2001). *Filosofia della scienza. Un’introduzione*. Il Saggiatore, Milano.

Oldroyd, D. (2002). *Storia della filosofia della scienza*. Net, Milano.

Opere a carattere teoretico:

Bechtel, W. (2001). *Filosofia della scienza e scienza cognitiva*. Laterza, Roma-Bari.

Boniolo, G., Vidali, P. (1999). *Filosofia della scienza*. Mondatori, Milano.

Hempel, C. (1968). *Filosofia delle scienze naturali*. Il Mulino, Bologna.

Opere relative al mutamento concettuale e alle rivoluzioni scientifiche:

Magnani, L. (2001). *Abduction, Reason, and Science. Processes of discovery and Explanation*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.

Thagard, P. (1994). *Rivoluzioni concettuali. Le teorie scientifiche alla prova dell'intelligenza artificiale*. Guerini e Associati, Milano.